



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

PCT/IB04/50445
Office européen
des brevets

REC'D 06/MAY 2004

WIPO PCT

Bescheinigung Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03101021.8 ✓

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag
For the President of the European Patent Office
Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 03101021.8 ✓
Demande no:

Anmelde tag:
Date of filing: 15.04.03 ✓
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Intellectual Property & Standards
GmbH
Steindamm 94
20099 Hamburg
ALLEMAGNE
Koninklijke Philips Electronics N.V.
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Vorrichtung für die Elastographie

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State>Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G01R33/28

Am Anmelde tag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT RO SE SI SK TR LI

BESCHREIBUNG

VORRICHTUNG FÜR DIE ELASTOGRAPHIE

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung umfassend eine Magnetenordnung zur Erzeugung eines Gradientenfeldes und Mittel zur Erzeugung von Schwingungen in einem

5 Untersuchungsobjekt. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung mechanischer Parameter in einem Untersuchungsobjekt.

Die Ermittlung mechanischer, insbesondere elastischer Eigenschaften von Werkstoffen sowie von biologischem Gewebe ist von großer Bedeutung, um Aussagen über die exakte Be-

10 schaffenheit im Inneren solcher Untersuchungsobjekte machen zu können. Denn häufig geht mit einer Änderung der strukturellen Eigenschaften des Untersuchungsobjektes auch eine Veränderung des Elastizitätsverhaltens einher. Beispielsweise hat die Erhöhung oder Verringung der inneren Reibung in einem Objekt Auswirkungen auf dessen elastisches Verhalten. In gleicher Weise lassen sich Dichteunterschiede nachweisen bzw. zur Bestimmung der

15 Beschaffenheit von z.B. Werkstoffen und biologischem Gewebe heranziehen.

Bekannte Elastographieverfahren bedienen sich zur Bildermittlung mechanischer Parameter sowie zur Bildgebung der Ultraschalltechnik. Beispielsweise ist aus der DE-OS 197 54 085 ein Ultraschall-Elastographieverfahren bekannt, bei dem elastische Gewebeeigenschaften

20 technisch erfaßt und in Form von Schnittbildern qualitativ und quantitativ visualisiert werden. Hierbei wird ausgenutzt, dass bei Ausübung eines mechanischen Druckes auf einen Gewebeabschnitt, welche eine Verformung des Gewebes zur Folge hat, Bereiche mit voneinander verschiedenen Elastizitätseigenschaften sich auch auf unterscheidbare Weise verformen.

Derartige Verfahren finden sich zum Beispiel in der US 2002/0010399 A1 und US 4,993,416 beschrieben. Die US 2002/0010399 A1 beschreibt im wesentlichen die Erfassung elastischer Parameter von vorzugsweise weichem Gewebe. Erste und zweite Ultraschallpulse werden

entlang der Transducer-Achse auf das zu untersuchende Objekt gerichtet und die jeweils reflektierten Signale mit Hilfe der Fourier-Analyse ausgewertet. Gemäß US 4,993,416 ist es von Vorteil, wenn zur Gewebeuntersuchung eine Vielzahl von Ultraschall-Transducern radial angeordnet sind und sequentiell zum Einsatz kommen. Diese Verfahren sind gegenwärtig noch 5 nicht universell einsetzbar und liefern in der Regel nur für den Oberflächenbereich des Untersuchungsobjekts eine aussagekräftige Bildgebung.

Des weiteren ist zur Bestimmung mechanischer Parameter eines Untersuchungsobjektes die Magnetresonanz-Elastographie (MRE) bekannt. Bei MRE-Verfahren wird ausgenutzt, dass 10 die Phase in einem Magnetresonanzbild des Untersuchungsobjektes sich infolge der darin wirksamen mechanischen Schwingungen verändert. Das Ausmaß dieser Änderung hängt von der Auslenkung infolge der mechanischen Schwingung ab. Mit den erhaltenen MR-Phasen-Bildern lässt sich somit die Phase der Kernmagnetisierung abbilden, worüber Informationen über bestimmte mechanische Parameter des Gewebes ableitbar sind. Herkömmliche MRE- 15 Verfahren, wie zum Beispiel in der EP-A 708 340 oder in den Proceedings of ISMRM 1997, Seite 1905, Vancouver, beschrieben, haftet der Nachteil an, dass sich auswertbare Resultate nur dann einstellen, wenn in dem Untersuchungsobjekt keine Reflexionen auftreten und wenn sich in dem Objekt nur transversale Schwingungen ausbreiten. Zur Überwindung dieses Problems wird in der DE 199 52 880 A1 ein MRE-Verfahren vorgeschlagen, bei dem Betrag 20 und Phase der Auslenkung in einem dreidimensionalen Bereich für drei zueinander senkrechte Richtungen bestimmt und wenigstens ein mechanischer Parameter aus diesen Auslenkungswerten sowie aus deren räumlicher Ableitung in wenigstens einem Teil des dreidimensionalen Bereichs berechnet werden. Hiermit soll es nun auch möglich sein, longitudinale Schwingungen im Untersuchungsobjekt für die Bestimmung mechanischer Eigenschaften nutzbar zu machen. 25 Bei einem solchen Verfahren wird regelmäßig Gebrauch gemacht von einer bereits in der DE 297 22 630 U1 beschriebenen Magnetresonanzanordnung. Die MRE-Technologie ist jedoch apparativ aufwendig und kostenintensiv und kommt daher nur für eine begrenzte Anzahl an Anwendungen in Betracht. Zudem sind aufgrund des beim MRE-Verfahren nicht sehr hohen Signal/Rauschverhältnisses relativ lange Untersuchungszeiten in Kauf zu nehmen.

Es wäre daher wünschenswert, auf eine Anordnung zur Bestimmung des mechanischen, insbesondere elastischen, Verhaltens von Untersuchungsobjekten zurückgreifen zu können, die nicht mit den Nachteilen des Standes der Technik behaftet ist, und die insbesondere einfach 5 und kostengünstig herzustellen sowie universell einsetzbar ist und kurze Messzeiten bei gleichzeitig guter Auflösung ermöglicht. Zudem lag der Erfindung die Aufgabe zugrunde, mechanische bzw. elastische Eigenschaften an jedem Ort eines Untersuchungsobjektes bestimmen zu können, unabhängig von der Entfernung zu dessen Oberfläche. Der Erfindung lag ferner die Aufgabe zugrunde, ein Elastographie- Verfahren zugänglich zu machen, das auf 10 unterschiedlichste Untersuchungsobjekte angewendet werden kann und in reproduzierbarer Weise sehr exakte Resultate liefert.

Demgemäß wurde eine Vorrichtung gefunden, umfassend a) mindestens eine Anordnung zur Ermittlung der räumlichen Verteilung magnetischer Partikel in mindestens einem Unter- 15 suchungsbereich des Untersuchungsobjekts, enthaltend ein Mittel zur Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in mindestens einem Untersuchungsbereich ein erster Teilbereich mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt, ein Mittel zur Erfassung von Signalen, die von der durch eine örtliche Veränderung der Partikel beein- 20 flußten Magnetisierung im Untersuchungsobjekt, insbesondere im Untersuchungsbereich, abhängen, sowie ein Mittel zur Auswertung der Signale zur Gewinnung von Informationen über die, insbesondere zeitlich veränderliche, räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich; und b) mindestens ein Mittel zur Erzeugung von mechanischen Auslenkungen, insbesondere Schwingungen, zumindest in und/oder benachbart zu dem 25 Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjektes.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es möglich, mit hoher Auflösung die Auslenkung sowie den Grad der Auslenkung der magnetischen Partikel aus der Ruheposition zu verfolgen und festzuhalten.

Eine zweckmäßige Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung verfügt dabei über mindestens ein Mittel, insbesondere mindestens eine Spulenanordnung zur Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem Untersuchungsbereich, so dass die Magnetisierung der Partikel sich örtlich ändert.

5

Grundsätzlich lässt sich der Untersuchungsbereich dadurch abscannen bzw. untersuchen, dass man die relative räumliche Lage des Teilbereichs mit niedriger magnetischer Feldstärke und des Teilbereichs mit höherer magnetischer Feldstärke verändert. Hiervon ist ebenfalls eine Anordnung umfaßt, bei der dem Gradientenfeld, insbesondere dem Teilbereich mit niedriger magnetischer Feldstärke, ein Magnetfeld überlagert wird, um auf diese Weise die Veränderung bzw. das Ausmaß der Magnetisierung der magnetischen Partikel in dem Teilbereich mit niedriger Feldstärke zu detektieren.

10

Dabei kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass das Mittel zur Erzeugung von mechanischen Auslenkungen oder Schwingungen mindestens ein Schwingelement, einen Schwingungs-erzeuger und ein Schwingungsübertragungsmittel zur Übertragung von Schwingungen vom Schwingungserzeuger zum Schwingelement und/oder mindestens eine Schallquelle, insbesondere eine Ultraschallquelle, umfaßt.

15

Die Anordnung zur Ermittlung der räumlichen Verteilung magnetischer Partikel kann folglich sowohl mit bekannten Elastographie- als auch mit Sonographie-Verfahren kombiniert werden. Geeignete Schwingungen stellen demnach Oberflächenwellen, die das Volumen des Objekts beim Schwingen nicht ändern, wie sie z.B. bei der Elastographie, z.B. der Magnetresonanz-elastographie zum Einsatz kommen, wie auch Volumenwellen dar, die, bei gegebener Fre-
quenz, sehr viel tiefer in Objekte eindringen können. Volumenwellen werden zum Beispiel bei der Sonographie benutzt. Geeignete Vorrichtungen und Instrumente zur Erzeugung von Schwingungen oder Wellen, wie sie in der Elastographie oder der Sonographie zum Einsatz kommen, sind dem Fachmann bekannt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich folglich zur Detektion des mechanischen, insbesondere des elastischen, Verhaltens von Gegenständen und Körpern, insbesondere des Gewebes und von Organen, im oberflächennahen sowie -fernen Bereich. Besonders vor-

5 teilhafte Resultate in bezug auf Auflösung, Empfindlichkeit und Messgenauigkeit sind bei Einsatz von Luft- bzw. Gasblasen in dem Untersuchungsbereich zu erzielen, auf denen magnetische Partikel vorliegen. Die Einbringung von Gasblasen in Gewebe ist dem Fachmann bekannt. Aufgrund von Oberflächenphänomenen sammeln sich magnetische Partikel häufig spontan auf der Oberfläche dieser Gasblasen an. Allerdings ist es ebenfalls möglich, Gas-
10 blasen und magnetische Partikel gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig in das Untersuchungs-objekt einzubringen. Diese sogenannten magnetischen Blasen stellen quasi breitbandige Mikrophone dar, die im Untersuchungsbereich mehr oder weniger gleichmäßig verteilt vorliegen können. Diese magnetischen Blasen sind insbesondere bei hohen Schwingungsfrequenzen, zum Beispiel im Bereich von 50 kHz, insbesondere 100 kHz und darüber,
15 besonders geeignet und liefern eine sehr hohe Auflösung. Bei der Schwingungsanregung mit niedrigen Frequenzen, beispielsweise im Bereich von 10 kHz, insbesondere 1 kHz und darunter, lassen sich die elastischen Eigenschaften des Untersuchungsbereich auch bereits besonders gut mit in diesem Bereich verteilt vorliegenden magnetischen Partikeln bestimmen, ohne dass diese auf Gasblasen vorzuliegen haben.

20

Ein weiterer Vorteil, insbesondere bei Verwendung der beschriebenen sogenannten magnetischen Blasen, besteht darin, dass man bei der Untersuchung des Teilbereichs mit niedriger Magnetfeldstärke auf eine Anregung durch ein äußeres Magnetfeld verzichten kann, da sich bereits die Veränderung der Magnetisierung durch die Schwingungen, z.B. über ein
25 Schallfeld, detektieren lassen. Dieses gilt insbesondere für die Verwendung hochfrequenter Schallwellen. Wenn beispielsweise das Gradientenfeld an einem Ort eine Größe hat, die in der Nähe der Größe zur Erreichung der Sättigung liegt, kann die Oszillation der magnetischen Blasen bereits eine Änderung der Magnetisierung bewirken. Somit liegt insbesondere in der Nähe des Feldnullpunktes des Gradientenfeldes ein Ort vor, der sensiv auf Druckschwan-

kungen reagiert und diese Schwankungen in ein äußeres Magnetfeld umwandelt. Dieses hat Messtechnisch den großen Vorteil, dass man bei der Detektion dieses Magnetfeldes keinen starken Untergrund der Anregungsfrequenz hat. Anstelle über eine Spulen- oder Sendeeinheit die relative Lage der Teilbereiche mit niedriger und höherer Magnetfeldstärke zueinander zu verschieben, sind bei der dargestellten Ausführungsform nur noch das Objekt und der Feldnullpunkt relativ zueinander zu bewegen. Bei dieser Verfahrensvariante erhält man, zumindest in erster Näherung, eine Richtungsableitung des Drucks des Wellenfeldes an einem Ort.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird vorschlagen, dass der Schwingungserzeuger außerhalb und in einem Abstand von der Magnetenordnung angeordnet ist und das Schwingelement und die Schwingungsübertragungsmittel aus nicht-metallischem und/oder metallischem Material bestehen.

Ferner ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung zu berücksichtigen, dass die Mittel zur Erzeugung des Magnetfeldes eine Gradientenspulenordnung zur Erzeugung eines magnetischen Gradientenfeldes umfassen, das in dem ersten Teilbereich des Untersuchungsbereiches seine Richtung umkehrt und einen Nulldurchgang aufweist.

Dabei kommt auch eine erfindungsgemäße Vorrichtung in Betracht mit einem Mittel zur Erzeugung eines dem magnetischen Gradientenfeld überlagerten zeitlich veränderlichen Magnetfeldes zwecks Verschiebung der beiden Teilbereiche in dem Untersuchungsbereich.

Eine geeignete erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich auch aus durch eine Spulenordnung zum Empfangen von durch die zeitliche Änderung der Magnetisierung im Untersuchungsbereich induzierten Signalen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform verfügt die erfindungsgemäße Vorrichtung über Mittel zur Erzeugung eines ersten und wenigstens eines zweiten, dem magnetischen Gradientenfeld überlagerten Magnetfeldes, wobei das erste Magnetfeld zeitlich langsam und mit großer

Amplitude veränderlich ist und das zweite Magnetfeld zeitlich schnell und mit niedriger Amplitude veränderlich ist.

Eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, dass die beiden

5 Magnetfelder im Untersuchungsbereich im wesentlichen zueinander senkrecht verlaufen.

Mit der erfindungsgemäß zum Einsatz kommenden Anordnung wird im Untersuchungsbereich ein räumlich inhomogenes Magnetfeld erzeugt. In dem ersten Teilbereich ist das Magnetfeld so schwach, dass die Magnetisierung der Partikel mehr oder weniger stark vom

10 äußeren Magnetfeld abweicht, also nicht gesättigt ist. Dieser erste Teilbereich ist vorzugsweise ein räumlich zusammenhängender Bereich; er kann ein punktförmiger Bereich sein, aber auch eine Linie oder eine Fläche. In dem zweiten Teilbereich (d.h. in dem außerhalb des ersten Teils verbleibenden Rest des Untersuchungsbereichs) ist das Magnetfeld genügend stark, um die Partikel in einem Zustand der Sättigung zu halten. Die Magnetisierung ist

15 gesättigt, wenn die Magnetisierung nahezu aller Partikel in ungefähr der Richtung des äußeren Magnetfeldes ausgerichtet ist, so dass mit einer weiteren Erhöhung des Magnetfeldes die Magnetisierung dort wesentlich weniger zunimmt als im ersten Teilbereich bei einer entsprechenden Erhöhung des Magnetfeldes. Durch Veränderung der Lage der beiden Teil-

20 bereiche innerhalb des Untersuchungsbereichs ändert sich die (Gesamt-) Magnetisierung im Untersuchungsbereich. Misst man daher die Magnetisierung im Untersuchungsbereich oder davon beeinflusste physikalische Parameter, dann kann man daraus Informationen über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich ableiten. Zur Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche im Untersuchungsbereich kann z.B.

25 ein örtlich und/oder zeitlich veränderliches Magnetfeld erzeugt werden. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass die durch die zeitliche Änderung der Magnetisierung im Untersuchungsbereich in wenigstens einer Spule induzierten Signale empfangen und zur Gewinnung von Information über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich ausgewertet werden. Möglichst große Signale lassen sich dadurch erreichen, dass die räumliche Lage der beiden Teilbereiche möglichst schnell verändert wird. Zur

30 Erfassung der Signale kann eine Spule benutzt werden, mit der im Untersuchungsbereich ein Magnetfeld erzeugt wird. Vorzugsweise wird aber mindestens eine gesonderte Spule benutzt.

Die Veränderung der räumlichen Lage der Teilbereiche kann z.B. auch mittels eines zeitlich veränderlichen Magnetfeldes vorstatten gehen. Dabei wird in einer Spule ein ebenfalls periodisches Signal induziert. Der Empfang dieses Signals kann sich aber insofern schwierig gestalten, als die im Untersuchungsbereich erzeugten Signale und das zeitlich veränderliche Magnetfeld gleichzeitig wirksam sind; es kann daher nicht ohne weiteres zwischen den durch das Magnetfeld induzierten Signalen und den durch Änderung der Magnetisierung im Untersuchungsbereich induzierten Signalen unterschieden werden. Dieses lässt sich jedoch dadurch vermeiden, dass ein zeitlich veränderliches Magnetfeld in einem ersten Frequenzband auf den Untersuchungsbereich einwirkt und von dem in der Spule empfangenen Signal ein zweites Frequenzband, das höhere Frequenzkomponenten enthält als das erste Frequenzband, zur Gewinnung von Information über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel ausgewertet wird. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Frequenzkomponenten des zweiten Frequenzbandes nur durch eine Änderung der Magnetisierung im Untersuchungsbereich infolge der Nichtlinearität der Magnetisierungskennlinie entstehen können. Wenn das zeitlich veränderliche Magnetfeld dabei einen sinusförmigen periodischen Verlauf hat, besteht das erste Frequenzband nur aus einer einzigen Frequenzkomponente – der sinusförmigen Grundschwingung. Hingegen enthält das zweite Frequenzband neben dieser Grundschwingung auch höhere Harmonische (sog. Oberwellen) der sinusförmigen Grundschwingung, die zur Auswertung herangezogen werden können.

Eine bevorzugte Anordnung für das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Mittel zur Erzeugung des Magnetfeldes eine Gradientenspulenanordnung zur Erzeugung eines magnetischen Gradientenfeldes umfassen, das in dem ersten Teilbereich des Untersuchungsbereiches seine Richtung umkehrt und einen Nulldurchgang aufweist. Dieses Magnetfeld ist – wenn die Gradienten-Spulenanzordnung z.B. zwei beiderseits des Untersuchungsbereichs angeordnete gleichartige, aber von gegensinnigen Strömen durchflossene Wicklungen umfasst (Maxwellspule) – an einem Punkt auf der Wicklungsachse Null und nimmt beiderseits dieses Punktes mit entgegengesetzter Polarität nahezu linear zu. Nur bei den Partikeln, die sich im Bereich um diesen Feld-Nullpunkt befinden, ist die Magnetisierung nicht gesättigt. Bei den Partikeln außerhalb dieses Bereiches ist die Magnetisierung im Zustand der Sättigung.

Dabei kann eine Anordnung vorgesehen sein mit Mitteln zur Erzeugung eines dem magnetischen Gradientenfeld überlagerten zeitlich veränderlichen Magnetfeldes zwecks Verschiebung der beiden Teilbereiche in dem Untersuchungsbereich. Der von der Gradienten-Spulenanordnung erzeugte Bereich wird dabei um den Feld-Nullpunkt herum, d.h. der erste Teilbereich, innerhalb des Untersuchungsbereichs durch das zeitlich veränderliche Magnetfeld verschoben. Bei geeignetem zeitlichen Verlauf und Orientierung dieses Magnetfeldes kann auf diese Weise der Feld-Nullpunkt den gesamten Untersuchungsbereich durchlaufen.

10 Die mit der Verschiebung des Feldnullpunktes einhergehende Magnetisierungsänderung kann mit einer entsprechenden Spulenanordnung empfangen werden. Die zum Empfang der im Untersuchungsbereich erzeugten Signale benutzte Spule kann dabei eine Spule sein, die bereits zur Erzeugung des Magnetfelds im Untersuchungsbereich dient. Es hat jedoch auch Vorteile, zum Empfang eine gesonderte Spule zu verwenden, weil diese von der Spulenanordnung entkoppelt werden kann, die ein zeitlich veränderliches Magnetfeld erzeugt. Außerdem kann mit einer Spule – erst recht aber mit mehreren Spulen – ein verbessertes Signal/Rausch-Verhältnis erzielt werden.

15 20 Die Amplitude der in der Spulenanordnung induzierten Signale ist um so größer, je schneller sich die Position des Feld-Nullpunktes im Untersuchungsbereich ändert, d.h. je schneller sich das dem magnetischen Gradientenfeld überlagerte zeitlich veränderliche Magnetfeld ändert. Es ist aber technisch schwierig, einerseits ein zeitlich veränderliches Magnetfeld zu erzeugen, dessen Amplitude ausreicht, um den Feld-Nullpunkt am Punkt des Untersuchungsbereichs zu verschieben und dessen Änderungsgeschwindigkeit genügend groß ist, um Signale mit einer ausreichenden Amplitude zu erzeugen. Besonders geeignet sind hierfür solche Anordnungen mit Mitteln zur Erzeugung eines ersten und wenigstens eines zweiten, dem magnetischen Gradientenfeld überlagerten Magnetfeldes, wobei das erste Magnetfeld zeitlich langsam und mit großer Amplitude veränderlich ist und das zweite Magnetfeld zeitlich schnell und mit niedriger Amplitude veränderlich ist. Hierbei werden zwei unterschiedlich schnell und mit unterschiedlicher Amplitude veränderliche Magnetfelder – vorzugsweise von zwei Spulenanordnungen – erzeugt. Als weiterer Vorteil ergibt sich, dass

die Feldänderungen so schnell sein können (z.B. >20 kHz), dass sie oberhalb der menschlichen Hörgrenze liegen. Dabei kann ebenfalls vorgesehen sein, dass die beiden Magnetfelder im Untersuchungsbereich im wesentlichen zueinander senkrecht verlaufen. Dieses erlaubt die Verschiebung des feldfreien Punktes in einem zweidimensionalen Bereich. Durch ein weiteres

5 5 Magnetfeld, das eine Komponente besitzt, die senkrecht zu den beiden Magnetfeldern verläuft, ergibt sich eine Erweiterung auf einen dreidimensionalen Bereich. Von Vorteil ist ebenfalls eine Anordnung mit einem der Spulenanzordnung nachgeschalteten Filter, das von dem der Spulenanzordnung induzierten Signal die Signalkomponenten in einem ersten Frequenzband unterdrückt und die Signalkomponenten in einem zweiten Frequenzband, das

10 10 höhere Frequenzkomponenten enthält als das erste Frequenzkomponenten durchlässt. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Magnetisierungs-Kennlinie in dem Bereich, in dem die Magnetisierung von dem nicht gesättigten in den gesättigten Zustand übergeht, nichtlinear ist. Diese Nichtlinearität bewirkt, dass ein z.B. ein zeitlich sinusförmig verlaufendes Magnetfeld mit der Frequenz f im Bereich der Nichtlinearität eine zeitlich

15 15 veränderliche Induktion mit der Frequenz f (Grundwelle) und ganzzahligen Vielfachen der Frequenz f (Oberwellen bzw. höhere Harmonische) hervorruft. Die Auswertung der Oberwellen hat den Vorteil, dass die Grundwelle des gleichzeitig zur Verschiebung des feldfreien Punktes wirkenden Magnetfeldes keinen Einfluss auf die Auswertung hat.

20 20 Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wurde ein Verfahren zur Bestimmung mechanischer und/oder physikalischer Parameter eines Untersuchungsobjektes gefunden, umfassend das Einbringen von magnetischen Partikeln in zumindest einen Teil eines Untersuchungsbereichs des Untersuchungsobjektes, das Erzeugen mindestens einer mechanischen Auslenkung, insbesondere mechanischer Schwingungen, in zumindest dem

25 25 Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekts, das Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in dem Untersuchungsbereich ein erster Teilbereich mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt, die Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem Untersuchungsbereich, so dass die Magnetisierung der Partikel

30 30 sich örtlich ändert, das Erfassen von Signalen, die von der durch diese Veränderung beeinflussten Magnetisierung im Untersuchungsbereich abhängen, das Auswerten der Signale zur

Gewinnung von Informationen über die, insbesondere zeitlich veränderliche, räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich, und den Abgleich der gewonnenen Information über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel zur Ermittlung elastischer Parameter, insbesondere von Zuständen unterschiedlicher mechanischer Beanspruchung.

Dabei ist in einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich an und/oder auf der Oberfläche von Gasblasen und/oder von Flüssigkeitstropfen vorliegen.

10 Insbesondere bei Verwendung von auf Gasblasen oder Flüssigkeitstropfen angesammelten magnetischen Partikeln ist zu beachten, dass über eine inhomogene Verteilung dieser Blasen oder Tropfen im Untersuchungsgebiet es zu einer Sensitivitätsvariation kommen kann. Diese inhomogene Verteilung ist jedoch durch das beschriebene magnetische Bildgebungsverfahren
15 ausMessbar, wodurch eine erste Kalibration gelingt. Allerdings können auch während des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere bei Verwendung sehr hoher Schwingungsfrequenzen, einzelne Blasen durch den damit einhergehenden hohen Druck zerstört werden. Beschränkt man sich nun darauf, eine Kalibration, wie vorhergehend beschrieben, über die Bestimmung der Verteilung der magnetischen Partikel herbeizuführen, kann dieses
20 gegebenenfalls zu Falschaussagen führen. Es hat sich nun als vorteilhaft erwiesen, auf den Untersuchungsbereich eine bekannte Druckänderung anzubringen und die erhaltenen Antwortsignale mit denen abzulegen, die bei erneuter Beaufschlagung mit dieser bekannten Druckänderung erhalten werden. Die applizierten Druckschwankungen sind vorzugsweise niederfrequent und werden am günstigsten von allen Seiten gleichmäßig auf den Untersuchungsbereich bzw. das Untersuchungsobjekt angewendet. Beispielsweise eignen sich für
25 eine solche Kalibration Druckschwankungen des Umgebungsluftdrucks, vorzugsweise unterhalb der Hörschwelle von etwa 16 Hz. Diese Beaufschlagung des Untersuchungsbereichs mit einer bekannten Druckänderung kann sowohl separat von dem erfindungsgemäßen Messverfahren als auch während des eigentlichen Messverfahrens, zum Beispiel periodisch,

vorgenommen werden. In diesem Fall wird der eigentlichen Messfrequenz eine niedrfre-quente Schwingung zur Kalibration überlagert.

Eine Weiterentwicklung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeichnet sich auch dadurch aus,

- 5 dass ein zeitlich veränderliches Magnetfeld in einem ersten Frequenzband auf den Unter-suchungsbereich einwirkt und von dem in der Spule empfangenen Signalen ein zweites Frequenzband, das vorzugsweise höhere Frequenzkomponenten enthält als das erste Frequenzband, zur Gewinnung von Information über die räumliche Verteilung der magne-tischen Partikel ausgewertet wird.
- 10 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die magnetischen Partikel bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes, insbesondere mit einer Stärke von etwa 100 mT oder weniger, in Sättigung gehen. Selbstverständlich sind auch größere Sättigungsfeldstärken für das erfindungsgemäße Verfahren geeignet.
- 15 Geeignete Magnetfeldstärken liegen für viele Anwendungen schon bei etwa 10 mT oder darunter. Diese Stärke wird bereits für viele Gewebe- oder Organuntersuchungen ausreichen. Aber auch mit Feldstärken im Bereich von 1 mT oder darunter oder von etwa 0,1 mT oder darunter lassen sich gute Messresultate erzielen. Beispielsweise lassen sich bei Magnetfeld-stärken von etwa 10 mT oder darunter, von etwa 1 mT oder darunter sowie bei etwa 0,1 mT und darunter Konzentrationsangaben, Temperatur, Druck oder pH-Wert mit hoher Genauigkeit und Auflösung bestimmen.
- 20 Unter einem äußeren Magnetfeld, bei dem die magnetischen Partikel in Sättigung gehen bzw. vorliegen, soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein solches Magnetfeld verstanden werden, bei dem etwa die Hälfte der Sättigungsmagnetisierung erreicht ist.
- 25 Geeignete magnetische Partikel sind dabei solche, die bei einem hinreichend kleinen Magnet-feld in Sättigung gehen können. Eine notwendige Voraussetzung hierfür ist, dass die
- 30 magnetischen Partikel über eine Mindestgröße bzw. ein Mindestdipolmoment verfügen. Im Sinne der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff magnetische Partikel folglich auch magnetisierbare Partikel.

Geeignete magnetische Partikel verfügen günstigerweise über Abmessungen, die klein gegenüber der Größe der Voxel sind, deren Magnetisierung durch das erfindungsgemäße Verfahren ermittelt werden soll. Weiterhin sollte bevorzugterweise die Magnetisierung der Partikel bei möglichst geringen Feldstärken des Magnetfeldes in die Sättigung gelangen. Je 5 geringer die dafür erforderliche Feldstärke ist, desto höher ist das räumliche Auflösungsvermögen bzw. desto schwächer kann das im Untersuchungsbereich zu erzeugende (externe) Magnetfeld sein. Weiterhin sollen die magnetischen Partikel ein möglichst hohes Dipol-Moment bzw. eine hohe Sättigungsinduktion haben, damit die Änderung der Magnetisierung möglichst große Ausgangssignale zur Folge hat. Beim Einsatz des Verfahrens für 10 medizinische Untersuchungen ist darüber hinaus wichtig, dass die Partikel nicht toxisch sind.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, dass das magnetische Partikel ein Monodomänenpartikel ist, das mittels Neel-Rotation ummagnetisierbar ist und/oder dessen Ummagnetisierung mittels Brown'scher 15 Rotation erfolgt.

Geeignete magnetische Monodomänenpartikel sind vorzugsweise derart dimensioniert, dass sich in ihnen nur eine einzige magnetische Domäne (die Monodomäne) ausbilden kann bzw. Weiß'sche Bereiche nicht vorliegen. Geeignete Partikelgrößen liegen gemäß einer besonders 20 bevorzugten Variante der Erfindung im Bereich von 20 nm bis ca. 800 nm, wobei die obere Grenze auch vom eingesetzten Material abhängt. Vorzugsweise wird für Monodomänenpartikel auf Magnetit (Fe_3O_4), Maghämít (? - Fe_2O_3) und/oder nichtstöchiometrische magnetische Eisenoxide zurückgegriffen.

Im allgemeinen ist dabei von Vorteil, insbesondere wenn eine schnelle, auf die Neel-Rotation 25 zurückgehende Ummagnetisierung gewünscht ist, dass die Monodomänenpartikel eine niedrige effektive Anisotropie aufweisen. Unter effektiver Anisotropie wird hierbei die aus der Form-Anisotropie und aus der Kristall-Anisotropie resultierende Anisotropie verstanden. Im vorgenannten Fall erfordert eine Änderung der Magnetisierungsrichtung keine Drehung 30 der Partikel. Alternativ können auch Monodomänenpartikel mit hoher effektiver Anisotropie verwendet werden, wenn angestrebt wird, dass die Ummagnetisierung bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes durch Brown'sche bzw. geometrische Rotation erfolgen soll.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorgesehen sein, dass das magnetische Partikel einen hart- oder weichmagnetischen Mehr- bzw. Multidomänenpartikel darstellt. Diese Multidomänenpartikel stellen zumeist größere magnetische Partikel dar, in denen sich eine Anzahl magnetischer Domänen ausbilden kann.

5 Geeigneterweise verfügen derartige Mehrdomänenpartikel über eine niedrige Sättigungs- induktion.

Hartmagnetische Mehrdomänenpartikel weisen im wesentlichen die gleichen magnetischen Eigenschaften auf wie Monodomänenpartikel mit großer effektiver Anisotropie. Weich-

10 magnetische Mehrdomänenpartikel mit kleiner Sättigungsmagnetisierung haben den Vorteil, dass sie beliebig geformt sein können, um im erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden zu können. Weisen sie eine asymmetrische äußere Form auf, eignen sie sich insbesondere auch für lokale Viskositätsmessungen im Untersuchungsbereich. Weichmagne-
15 tische Mehrdomänenpartikel mit hoher Sättigungsmagnetisierung sind vorteilhafterweise derart zu gestalten, dass der Entmagnetisierungsfaktor klein wird. Hierbei kommen sowohl weichsymmetrische als auch asymmetrische Formen in Betracht. Beispielsweise kann ein weich-
magnetischer Wirkstoff mit hoher Sättigungsmagnetisierung als dünne Beschichtung auf einer Kugel oder einem Würfel, die selber nicht magnetisierbar sind, aufgebracht sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere auch geeignet zur, insbesondere lokalen, Bestimmung des Innendrucks, der Änderung des Innendrucks, des Volumens und/oder der Änderung des Volumens von im Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekt vorliegenden Gasblasen.

Außerdem ist das erfindungsgemäße Verfahren geeignet zur, insbesondere lokalen, Bestim-
20 mung der Temperatur, der Temperaturänderung, der Steifigkeit, der Steifigkeitsänderung, der Dichte und/oder der Dichteänderung, der Druck, die Auslenkung, der E-Modul und/oder der Schermodul in dem Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekts.

Dabei kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass die mechanischen Parameter kontinu-
ierlich oder intervallweise erfaßt werden.

Ferner hat sich herausgestellt, dass sich die erfindungsgemäße Vorrichtung insbesondere auch zur Untersuchung von Atmungsorganen, insbesondere in Echtzeit, eignet.

- 5 Die Schwingungen werden regelmäßig außerhalb und in einem Abstand von der Magnetanordnung im Schwingungserzeuger generiert. Dabei kann auf aus dem Stand der Technik bekannt Schwingungserzeuger zurückgegriffen werden. Geeignete Schwingungserzeuger können ebenfalls über metallische Elemente verfügen. Schwingungen lassen sich beispielsweise mit Piezoelementen, einer Schwingsspule oder einem Oszillatoren erzeugen, wobei für das
- 10 erfindungsgemäße Verfahren bevorzugt auf Schwingungen im Bereich von 50 Hz bis 500 kHz, insbesondere von 500 Hz bis 250 kHz, zurückgegriffen wird. Diese Schwingungen werden regelmäßig mittels geeigneter Schwingungsübertragungsmittel auf das eigentliche Schwingelement übertragen, das im Betrieb auf das Untersuchungsobjekt gelegt wird.
- 15 Alle Teile, die sich innerhalb oder in der Nähe der Magnetanordnung befinden, beeinflussen vorteilhafterweise das Gradientenfeld nicht und sind demgemäß vorzugsweise nicht metallisch.

Der vorliegenden Erfindung lag die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass sich mechanische Eigenschaften, insbesondere elastische Eigenschaften, sowie Dichteangaben für lokal begrenzte Bereiche im Inneren von Untersuchungsobjekten ohne weiteres auf reproduzierbare Weise ermitteln lassen. Auch sind Rückschlüsse auf den Innendruck von Gasblasen in einem Untersuchungsobjekt gewinnbar. Insbesondere lässt sich mit der erfindungsgemäßen Anordnung nicht mehr nur der oberflächennahe Bereich von Objekten untersuchen, sondern es gelingt jetzt ebenfalls, verlässliche Aussagen über das mechanische und elastische Zustandsbild

- 20 im Inneren von Körpern machen zu können. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht somit auf einfache und zuverlässige Weise die lokale Bestimmung von Parametern wie Temperatur, Steifigkeit, Gasinnendruck, Gasvolumen und Dichte sowie die Verfolgung und Ermittlung der Änderung dieser Parameter, insbesondere auch in Echtzeit. Ferner ist auch die Bestimmung des pH-Wertes möglich.
- 25

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es somit möglich, mit sehr hoher Auflösung auch eng begrenzten Orten im Inneren von Objekten mechanische bzw. elastische Eigenschaften zuzuordnen. Man erhält gegenüber herkömmlichen Elastographieverfahren ein weitaus geringeres Signal/Rausch-Verhältnis, womit sehr viel niedrigere Messzeiten einhergehen, ohne bei der Qualität der Messungen Einbußen in Kauf nehmen zu müssen. Des weiteren lassen sich sämtliche elastischen Größen des Elastizitätstensors ermitteln. Dadurch, dass der eigentlichen Messung niederfrequente Schwingungen zur Kalibration überlagert werden können, erhält man zudem stets ein sehr zuverlässiges Messergebnis.

10

Von Vorteil ist weiterhin, dass die magnetischen Partikel nicht notwendigerweise homogen über den Untersuchungsbereich verteilt sein müssen, um die gewünschten Aussagen über diesen Bereich treffen zu können. Vielmehr ist eine auf Schwingungen zurückzuführende Deformation entweder des Untersuchungsbereichs oder der magnetischen Blasen auch bei inhomogener Verteilung dieser Partikel detektier- und auswertbar. Bei einer homogenen Verteilung der Partikel im Untersuchungsbereich hat sich als vorteilhaft erwiesen, solche magnetischen Partikel einzusetzen, die sich sowohl über die Neel- als auch die Brown'sche Rotation ummagnetisieren lassen. Hierbei kann die unterschiedliche Zeitabhängigkeit der Ummagnetisierung über die Neel- oder Brown'sche Rotation genutzt werden, um Aussagen über das lokale elastische Verhalten des Untersuchungsobjekts im Untersuchungsbereich machen zu können. Beispielsweise lassen sich bei inhomogener Partikelverteilung, z.B. wenn Teilbereiche des Untersuchungsbereichs keine magnetischen Partikel aufweisen, auch indirekt durch Extrapolation der registrierten Signale charakteristische Kenngrößen für diese nicht mit magnetischen Partikeln durchsetzten Bereiche ermitteln. Dieses kann beispielsweise genutzt werden, wenn Luftbläschen, auf deren Oberfläche magnetische Partikel vorliegen, in die Blutbahn gegeben werden, aus der diese aufgrund ihrer Größe nicht in anderes Gewebe übertreten können. Dann lassen sich nichtsdestotrotz auch Aussagen über das elastische Verhalten von Bereichen neben bzw. zwischen diesen Blutbahnen, die keine magnetischen Partikel aufweisen, gewinnen.

Neben der Untersuchung von Gewebestrukturen oder Organen in Lebewesen eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung sowie das erfindungsgemäße Verfahren auch z.B. zur Untersuchung von gummielastischen Werkstoffen und Bauteilen, wie sie verstärkt in der Kunststofftechnik zum Einsatz kommen. Die inneren elastischen Eigenschaften von Gummibauteilen, Reifen oder Bauteilen auf der Basis von thermoplastischen Elastomeren lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hochauflösend und zuverlässig unter Gewinnung von elastischen Parametern an jedem Ort des Untersuchungsbereich untersuchen.

5

10 Die in der vorstehenden Beschreibung sowie den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in jeder beliebigen Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Erfassung mechanischer, insbesondere elastischer, Parameter eines Untersuchungsobjektes, umfassend a) mindestens eine Anordnung zur Ermittlung der räumlichen Verteilung magnetischer Partikel in mindestens einem Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekts, enthaltend ein Mittel zur Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in mindestens einem Untersuchungsbereich ein erster Teilbereich mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt, ein Mittel zur Erfassung von Signalen, die von der durch eine örtliche Veränderung der Partikel beeinflussten Magnetisierung im Untersuchungsobjekt, insbesondere im
5 Untersuchungsbereich, abhängen, sowie ein Mittel zur Auswertung der Signale zur Gewinnung von Informationen über die, insbesondere zeitlich veränderliche, räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich; und b) mindestens ein Mittel zur Erzeugung von mechanischen Auslenkungen, insbesondere Schwingungen, zumindest in und/oder benachbart zu dem Untersuchungsbereich des
10 Untersuchungsobjektes.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mindestens ein Mittel, insbesondere mindestens eine Spulenanordnung, zur Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem
15 Untersuchungsbereich, so dass die Magnetisierung der Partikel sich örtlich ändert.
20

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Mittel zur Erzeugung von mechanischen Auslenkungen oder Schwingungen
mindestens ein Schwingelement, einen Schwingungserzeuger und ein
5 Schwingungsübertragungsmittel zur Übertragung von Schwingungen vom
Schwingungserzeuger zum Schwingelement und/oder mindestens eine Schallquelle,
insbesondere Ultraschallquelle, umfaßt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass der Schwingungserzeuger außerhalb und in einem Abstand von der
Magnetanordnung angeordnet ist und das Schwingelement und die
Schwingungsübertragungsmittel aus nicht-metallischem und/oder metallischem Material
bestehen.
15
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mittel zur Erzeugung des Magnetfeldes eine Gradientenspulenanordnung zur
Erzeugung eines magnetischen Gradientenfeldes umfassen, das in dem ersten Teilbereich
20 des Untersuchungsbereiches seine Richtung umkehrt und einen Nulldurchgang aufweist.
6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch
ein Mittel zur Erzeugung eines dem magnetischen Gradientenfeld überlagerten zeitlich
veränderlichen Magnetfeldes zwecks Verschiebung der beiden Teilbereiche in dem
25 Untersuchungsbereich.

7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Spulenanordnung zum Empfangen von durch die zeitliche Änderung der Magnetisierung im Untersuchungsbereich induzierten Signalen.
- 5 8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch im Mittel zur Erzeugung eines ersten und wenigstens eines zweiten, dem magnetischen Gradientenfeld überlagerten Magnetfeldes, wobei das erste Magnetfeld zeitlich langsam und mit großer Amplitude veränderlich ist und das zweite Magnetfeld zeitlich schnell und mit niedriger Amplitude veränderlich ist.

10

9. Vorrichtung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die beiden Magnetfelder im Untersuchungsbereich im wesentlichen zueinander senkrecht verlaufen.

15

10. Verfahren zur Bestimmung mechanischer und/oder physikalischer Parameter eines Untersuchungsobjektes, insbesondere unter Einsatz einer Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, umfassend das Einbringen von magnetischen Partikeln in zumindest einen Teil eines Untersuchungsbereichs des Untersuchungsobjektes, das Erzeugen mindestens einer mechanischen Auslenkung, insbesondere mechanischer Schwingungen, in zumindest dem Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekts, das Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in dem Untersuchungsbereich ein erster Teilbereich mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt, die Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem Untersuchungsbereich, so dass die Magnetisierung der Partikel sich örtlich ändert, das Erfassen von Signalen, die von der durch diese Veränderung

20

25

beeinflußten Magnetisierung im Untersuchungsbereich abhängen, das Auswerten der Signale zur Gewinnung von Informationen über die, insbesondere zeitlich veränderliche, räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich, und den Abgleich der gewonnenen Information über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel zur Ermittlung elastischer Parameter, insbesondere von Zuständen unterschiedlicher mechanischer Beanspruchung.

- 5 11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
10 dass die magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich an und/oder auf der Oberfläche von Gasblasen und/oder von Flüssigkeitstropfen vorliegen.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die magnetischen Partikel Mono- und/oder Mehrdomänenpartikel darstellen, deren Ummagnetisierung mittels Brown'scher Rotation und/oder Neel-Rotation erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 10 bis 12,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass ein zeitlich veränderliches Magnetfeld in einem ersten Frequenzband auf den Untersuchungsbereich einwirkt und von dem in der Spule empfangenen Signalen ein zweites Frequenzband, das vorzugsweise höhere Frequenzkomponenten enthält als das erste Frequenzband, zur Gewinnung von Information über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel ausgewertet wird.
25

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass als mechanischer oder physikalischer Parameter der Innendruck, die Änderung des
Innendrucks, das Volumen und/oder die Änderung des Volumens von im
Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekts vorliegenden Gasblasen, insbesondere
lokal, bestimmt wird bzw. werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass als mechanische oder physikalische Parameter die Temperatur, die Änderung der
Temperatur, die Steifigkeit, die Änderung der Steifigkeit, die Dichte und/oder die
Änderung der Dichte, der Druck, die Auslenkung, der E-Modul und/oder der
Schermodul im Untersuchungsbereich, insbesondere lokal, bestimmt wird bzw. werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass die mechanischen oder physikalischen Parameter kontinuierlich oder intervallweise
erfaßt werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die magnetischen Partikel homogen oder inhomogen verteilt in dem
Untersuchungsbereich vorliegen oder eingebracht werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Untersuchungsbereich zusätzlich mit einer, insbesondere periodischen, Druckschwankung zur Kalibration beaufschlagt wird.

5

19. Verwendung der Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Bestimmung des Innendruckes oder der Änderung des Innendrucks von in einem Untersuchungsobjekt vorliegenden Gasblasen, zur Bildgebung von Körperbestandteilen und/oder Organen.

10

20. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Untersuchung, insbesondere in Echtzeit, von Gummibauteilen, Reifen oder Bauteilen auf der Basis von thermoplastischen Elastomeren oder von Gewebe oder Organen, insbesondere Atmungsorganen.

15

ZUSAMMENFASSUNG

VORRICHTUNG FÜR DIE ELASTOGRAPHIE

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erfassung mechanischer, insbesondere elastischer, Parameter eines Untersuchungsobjektes, umfassend a) mindestens eine

5 Anordnung zur Ermittlung der räumlichen Verteilung magnetischer Partikel in mindestens einem Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjekts, enthaltend ein Mittel zur Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in mindestens einem Untersuchungsbereich ein erster Teilbereich mit niedriger 10 magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt, ein Mittel zur Erfassung von Signalen, die von der durch eine örtliche Veränderung der Partikel beeinflußten Magnetisierung im Untersuchungsobjekt, insbesondere im Untersuchungsbereich, abhängen, sowie ein Mittel zur Auswertung der Signale zur Gewinnung von Informationen über die, insbesondere zeitlich veränderliche, räumliche 15 Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich; und b) mindestens ein Mittel zur Erzeugung von mechanischen Auslenkungen, insbesondere Schwingungen, zumindet in und/oder benachbart zu dem Untersuchungsbereich des Untersuchungsobjektes. Der Erfindung betrifft des weiteren ein Verfahren zur Bestimmung mechanischer und/oder physikalischer Parameter eines Untersuchungsobjektes, insbesondere unter Einsatz einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

PCT/IB2004/050445



THIS PAGE BLANK (USPTO)